

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA PRODUÇÃO DE ETANOL

AUTORES:

Rodrigo Lucas Tenorio Calazans de Lira

Paulo Estevão

Sergio Lucena

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Pernambuco

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA PRODUÇÃO DE ETANOL

Abstract

This work was made in studies of distillation columns typical of a Sugar-Alcohol Plant in order to optimize the production of alcohol and spending on energy saving, reducing the loss of alcohol on the base of the column. The key is to demonstrate the results concerning the modeling of a sugar-alcohol-based articles and books dealing with the taking of hydrated ethanol, related to its stationary and dynamic conditions using the Hysys version 3.1, is a commercial simulator for chemical processes. Several compounds were found in the wine minority fed to the plant in order to represent the actual conditions encountered in the distilleries. Results in the profiles of mass flow, pressure and temperature shown is satisfactory since the methodology used in this work was efficient industries to meet the requirements regarding the composition of alcohol in vinasse not exceed 200 ppm by weight, and concentration of alcohol the product be in the range of 96% in volume as necessary.

Introdução

A evolução da produção e uso dos combustíveis, em todo o mundo, veio seguindo a lógica da substituição das fontes então utilizadas por outras mais práticas e rentáveis (da lenha ao carvão; do carvão ao petróleo), até avançar na procura de caminhos onde o objetivo passou a ser a sustentabilidade do uso da energia. Essa síntese das fases, que ocorreu desde o século XVIII, explica o crescimento da produção e do uso do gás natural e, mais atualmente, a discussão e adoção das energias renováveis derivados da biomassa.

A ação local, com impacto global em termos ambientais, faz do álcool um produto de extrema importância para a rápida resposta que o mundo deve dar às reduções de emissões dos gases do efeito estufa. O Brasil, desde a década de 20, usa o álcool combustível e a partir da implementação do Proálcool em escala comercial no final dos anos 70, o país tornou-se pioneiro na efetiva substituição da gasolina em meio à crise dos preços do petróleo.

Apesar da desaceleração do Proálcool durante os anos 90, os avanços tecnológicos continuaram e o Brasil detém, hoje, supremacia na geração e difusão de tecnologias da cadeia açúcar/álcool de cana, onde são crescentes os esforços em pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

A aplicação de métodos racionais de destilação, em busca de melhor eficiência energética e de processo, abre caminho para a obtenção de um etanol de melhor qualidade e com menor preço, podendo ainda liberar o bagaço para outros fins, já que escolha da destilação como foco do trabalho é em função que é uma das operações que mais demanda energia na produção sucro-alcooleira.

O objetivo geral é a realização de um modelo otimizado para a produção de etanol hidratado com uso do simulador comercial Hysys no processo de destilação partindo do vinho resultante da dorna de fermentação, visando uma maior oferta de energia elétrica e combustíveis produzidos a partir de biomassa; a fim de tornar a produção de álcool mais econômica e por um processo energético sustentável, no sentido amplo, que envolva a segurança operacional e competitividade industrial.

Metodologia

No desenvolvimento da simulação, as colunas de destilação foram descritas por um conjunto de unidades *flash* acopladas representado pelos seus pratos constituindo o modelo *MESH*,

caracterizado por balanços de massa, equações de equilíbrio líquido-vapor, somatório das frações molares igual a um e balanços de entalpia. Em seguida foi feita a escolha do modelo termodinâmico para descrever o equilíbrio líquido-vapor característica do processo, resolvendo a equação 1:

$$f_i^V y_i = f_i^L x_i \quad (1)$$

Onde f_i^V, f_i^L corresponde as fugacidades do componente puro i nos estados de vapor e líquido respectivamente, avaliados na pressão P e temperatura T do sistema, y_i, x_i são as frações molares do componente i nas fases de vapor e líquido respectivamente e γ_i^V, γ_i^L são os coeficientes de atividade do componente i nas fases vapor e líquida respectivamente.

Para calcular os coeficientes de atividade da fase líquida γ_i^L foi utilizado o modelo termodinâmico *Non-Random-Two-Liquid* (NRTL) e a técnica UNIFAC de estimativa para a determinação dos parâmetros de interação dos componentes das substâncias utilizadas na simulação. A representação do processo estudado foi feita no software Hysys versão 3.1 para uma típica planta de destilaria, começando por uma simulação estacionária e depois para uma simulação dinâmica.

Para ambas as simulações foram feitas a inserção de uma solução conhecida como vinho resultante de um processo fermentativo. Como o é vinho constituído por varias substâncias realizou-se um reajuste do modelo NRTL através do cálculo das constantes de interação binária das substâncias constituintes do vinho. Devido à complexidade do vinho, alguns binários não dispunham de dados experimentais de equilíbrio sendo utilizada técnica UNIFAC para predizer e ajustar as constantes de interação binária do modelo NRTL. Os dados referentes à Tabela 1, diz respeito aos principais componentes do vinho utilizado no processo.

Tabela 1. Principais componentes do vinho (BATISTA, 2008).

Constituintes do vinho	Frações mássicas (w/w)
Etanol	0,06615
Água	0,9331742
Metanol	3,2e-7
Isopropanol	1,02e-6
Propanol	3,36e-5
Isobutanol	2,78e-5
Álcool isoamílico	0,0001425

Para garantir uma representação confiável na simulação do processo, fixou-se que a corrente HIDRAT (álcool hidratado) continha 96% de etanol em sua composição e que a corrente de Flegmaça não ultrapassasse o valor de 200 ppm de etanol, limite este que é o máximo permitido na indústria.

Caso1: Simulação Estacionária

Nesta simulação foi feita a integração das colunas de destilação AA1D e BB1, sendo fixadas as vazões das correntes e a configuração das colunas envolvidas. O número de pratos internos para as

colunas AA1D e BB1 foram de 32 e 42 respectivamente numerados de cima para baixo; sendo o Condensador o estágio 0 e o Refervedor o estágio n+1; onde n é o ultimo prato interno da coluna. A corrente de vinho foi fixada em 202542 kg/h, a uma pressão de 1 atm e temperatura de 94°C. Enquanto que a corrente FLEGMAÇA, sai do prato 11 da coluna AA1D, foi fixada em 28535 kg/h e a corrente de fundo da coluna D (PFD) fixada em 3387 kg/h. O álcool hidratado foi retirado pela corrente HIDRAT no topo da coluna BB1, sendo sua vazão obtida de acordo com os resultados da simulação . No topo da coluna AA1D tem-se a corrente de álcool de segunda, representada pelo símbolo ASD, e na bandeja 42 da coluna BB1 foi retirada a corrente de óleo fúsel, representada pelo símbolo FUSEL;

Caso 2: Simulação Dinâmica

Para a construção dessa simulação foi inserido no Hysys dispositivos para a condução de fluxo entre as operações unitárias, válvulas com pequenas quedas de pressão (3 kPa) , sendo também determinadas as condições hidráulicas das colunas. O tempo de simulação foi de 10min. Os cálculos hidráulicos das colunas foram obtidos por estimativas utilizando da ferramenta *Tray Sizing Utility*.

Resultados e Discussão

Caso 1: Simulação Estacionária

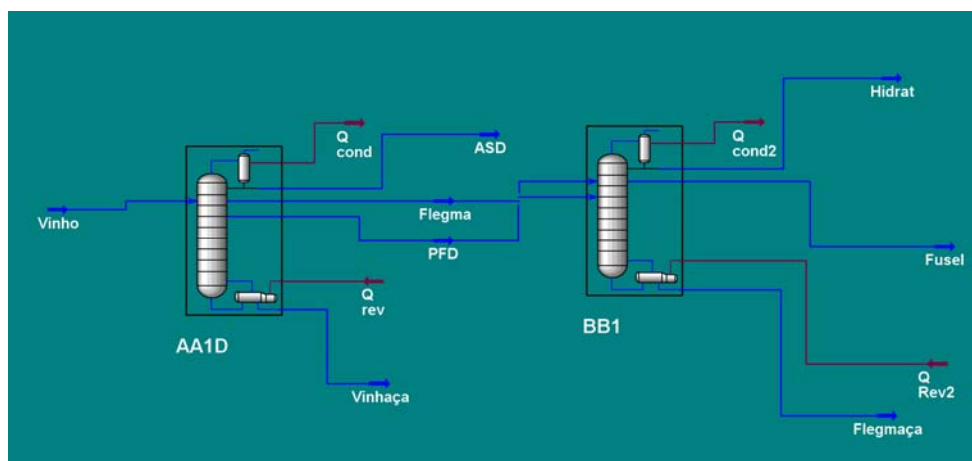


Figura 1. Esquema de destilação simulada no Hysys.

O álcool hidratado é resultante, principalmente, da coluna **BB1**, sendo a análise dos seus perfis de pressão, temperatura e fluxo mostradas nas Figuras 2,3, 4 respectivamente.

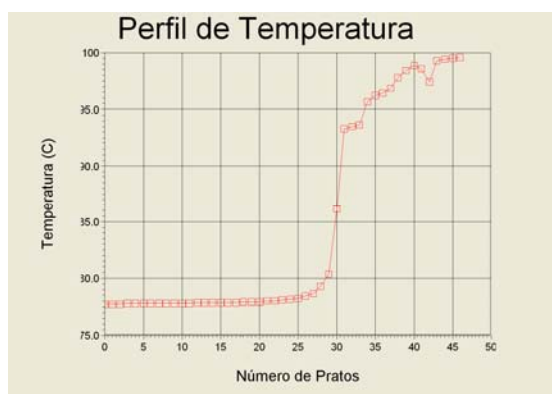


Figura 2. Perfil de Temperatura

Analisando o perfil de temperatura, Figura 2, observa-se uma grande temperatura na base da coluna (99.60 °C), pois o refeedor é o inicializador do processo destilativo. A troca térmica no

interior da coluna e a transferência de massa resultante do equilíbrio físico-químico tornam o vapor rico em etanol ao passar pelos pratos, sendo resfriado e por fim condensado.

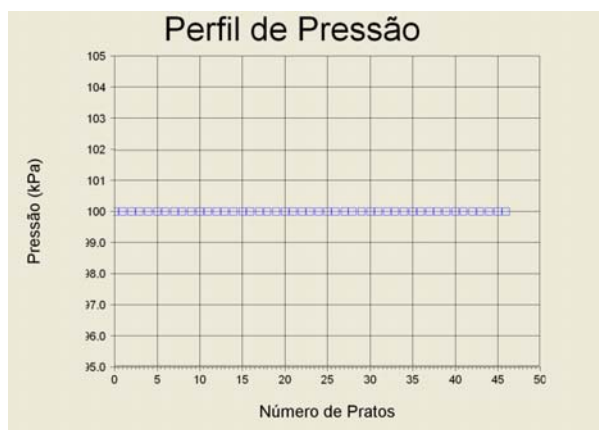


Figura 3. Perfil de Pressão.

Observa-se na Figura 3, que a pressão no interior da coluna permanece constante, pois na simulação realizada o Hysys não considera a existência de gradientes de pressão que ocorrem na mudança de fase.

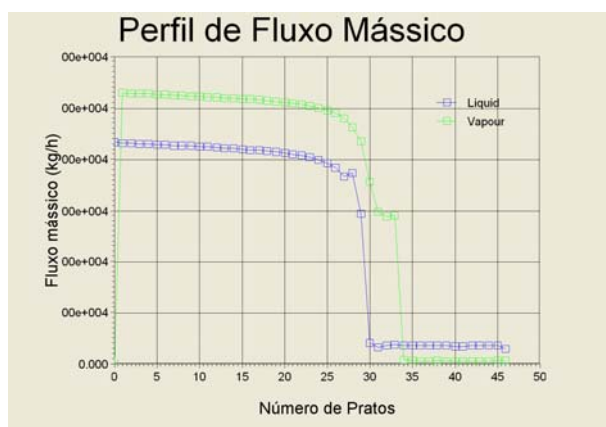


Figura 4. Perfil de Fluxo Mássico.

O comportamento do fluxo mássico de etanol tanto na fase vapor como na fase líquida no interior da coluna aumenta da base para o topo (Figura 4). Neste caso, a fase vapor é totalmente eliminada no condensador (Prato 0), pois um condensador total é utilizado para recuperar o etanol hidratado com um fluxo de 9644,8 kg/h.

Os resultados da simulação estacionária no Hysys, referentes às correntes HIDRAT, FUSEL e FLEGAMAÇA são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Dados das correntes da coluna BB1

Condições Operacionais	HIDRAT	FUSEL	FLEGAMAÇA
Temperatura (°C)	77,76	86,20	99,599
Pressão (kPa)	100	100	100
Fluxo mássico (kg/h)	9644,8	19299	2988,6
Fração volumétrica do etanol	0.9554	0.246436	0,000093
Fração molar do etanol	0.8705	0.092829	0,000029

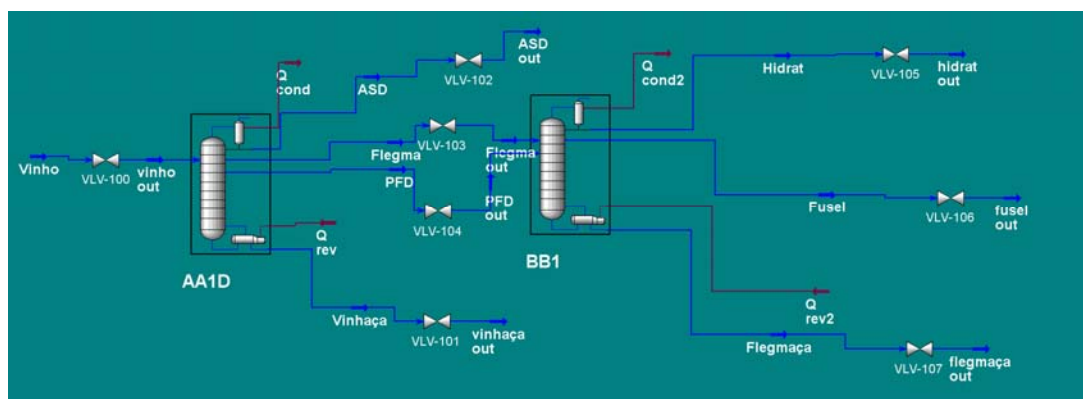
Caso 2: Simulação Dinâmica

Figura 5. Esquema da simulação dinâmica realizada.

Os resultados dos cálculos hidráulicos das colunas AAD1 e BB1 são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Dados hidráulicos das colunas simuladas.

Condições Hidráulicas	Coluna AA1D	Coluna BB1
Diâmetro dos pratos (m)	9,425	4,420
Volume dos pratos (m ³)	41,86	96,41
Espaçamento entre os pratos (mm)	609,6	609,6
Comprimento da barragem dos pratos (mm)	4333	2607
Espessura dos pratos (mm)	50,8	50,8
Volume do condensador (m3)	5	2
Volume do refeedor (m3)	5	2

Os resultados da simulação dinâmica são apresentados nas Figuras 6, 7, 8 a seguir, para um tempo de simulação de 10 min.

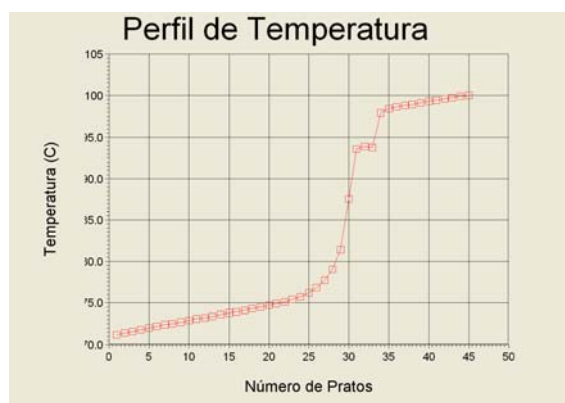


Figura 6. Perfil de temperatura.

Verifica-se que o perfil de temperatura (Figura 6) manteve, qualitativamente, as características do perfil obtido na simulação estacionária, ou seja, com alta temperatura na base da coluna e uma queda acentuada em direção ao condensador.

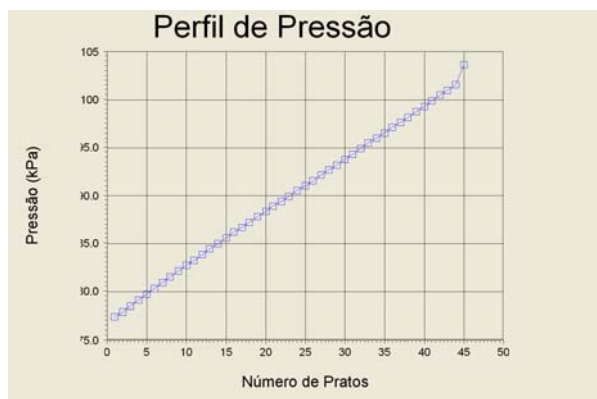


Figura 7. Perfil de pressão.

Observa-se um aumento gradativo do perfil de pressão (Figura 7) no interior da coluna, sendo elevada a pressão em direção a base, onde se localiza o refeedor. Esta variação foi calculada com um conjunto de EDO's que agiu particionando a coluna em seções, e por fim acoplando os resultados obtidos para a coluna como um todo.



Figura 8. Perfil de fluxo mássico.

Analisando o comportamento do fluxo mássico, Figura 8, nota-se um aumento na produção de etanol hidratado, **HIDRAT OUT**, após 10 min de simulação. A estabilidade do processo aconteceu com fluxo de etanol hidratado de 13035 kg/h.

A Tabela 4 apresenta os novos valores das correntes **HIDRAT**, **FUSEL** e **FLEGMAÇA**, agora denominadas de **HIDRAT OUT**, **FUSEL OUT** e **FLEGMAÇA OUT** em decorrência da inserção de válvulas na simulação dinâmica.

Tabela 4. Dados das correntes da coluna BB1 após 10 min de simulação.

Condições Operacionais	HIDRAT OUT	FUSEL OUT	FLEGMAÇA OUT
Temperatura (°C)	70,380	87,430	97,613
Pressão (kPa)	74,017	90,269	1e-2
Fluxo mássico (kg/h)	13035	20253	4,2611e-22
Fração volumétrica do etanol	0,966060	0,136444	0
Fração molar do etanol	0,899128	0,048224	0

Conclusões

As estimações teóricas de alguns dados operacionais pelo software Hysys tanto no modelo termodinâmico quanto no tamanho e forma dos equipamentos com o uso da ferramenta *Tray sizing*, permitiu a obtenção dos resultados satisfatórios nas simulações realizadas.

A eficiência desse software é evidente nas simulações dos processos de destilação, no entanto, as colunas estudadas ainda não foram otimizadas, já que as mesmas trabalharam com elevadas razões de refluxo (35 para a coluna AA1D e 10.40 para a coluna BB1), exigindo assim uma grande demanda de energia por parte dos refeedores.

De acordo com os resultados obtidos, propõe-se que novas simulações sejam realizadas utilizando-se parâmetros de projeto da coluna semelhantes a projetos reais. Esta mesma proposta serve para as condições de operação que poderiam ser retiradas de estudos de caso reais. Tais propostas fariam com que a simulação e otimização econômica do processo se tornem mais confiáveis, sendo posteriormente os resultados validados com dados de uma usina sucro-alcóoleira típica do estado de Pernambuco.

Agradecimentos

Agradecimentos ao PRH-28 e Laboratório de Controle e Otimização de Processos (LACO-UFPE).

Referências Bibliográficas

BATISTA, F.R.M., MEIRELLES, A.J.A.. **Simulação e Otimização Computacional da Destilação Alcoólica Industrial Usando Aspen Plus**. In: XVII Congresso de Engenharia Química, 14-17, 2008.

PróAlcool - Programa Brasileiro de Álcool. <<http://www.biodieselbr.com>> (Acesso em: 14/03/2009).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2009. <<http://www.conab.gov.br>> (Acesso em: 14/03/2009)

Portal Laboratórios Virtuais de Processos Químicos.

<http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1> (Acesso em: 14/03/2009).

HOLLAND, Charles D.. **Fundamentals of Multicomponent Distillation**. McGraw-Hill, 1998.

MANUAL HYSYS. © 2000 AEA Technology plc.

LUYBEN, W.L.. **Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical engineers**, 2.ed. McGraw-Hill, 1999.

ROITMAN, V. **Operações Unitárias**. Curitiba, 2002.

CAMARGO, C A., USHIMA, A.H., RIBEIRO, A.M. **Conservação de Energia na Indústria do Açúcar e do Álcool: Manual de Recomendações**. São Paulo, IPT, 1990.